

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international

03 SEP 2004

(43) Date de la publication internationale
18 septembre 2003 (18.09.2003)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 03/076965 A1(51) Classification internationale des brevets⁷ : G01S 15/89(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR03/00742

(22) Date de dépôt international : 7 mars 2003 (07.03.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
02/03122 13 mars 2002 (13.03.2002) FR(71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) :
THALES [FR/FR]; 173, boulevard Haussmann, F-75008

Paris (FR). MAERFELD, Charles [FR/FR]; Thales Intellectual property, 33-31, avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

(72) Inventeurs; et

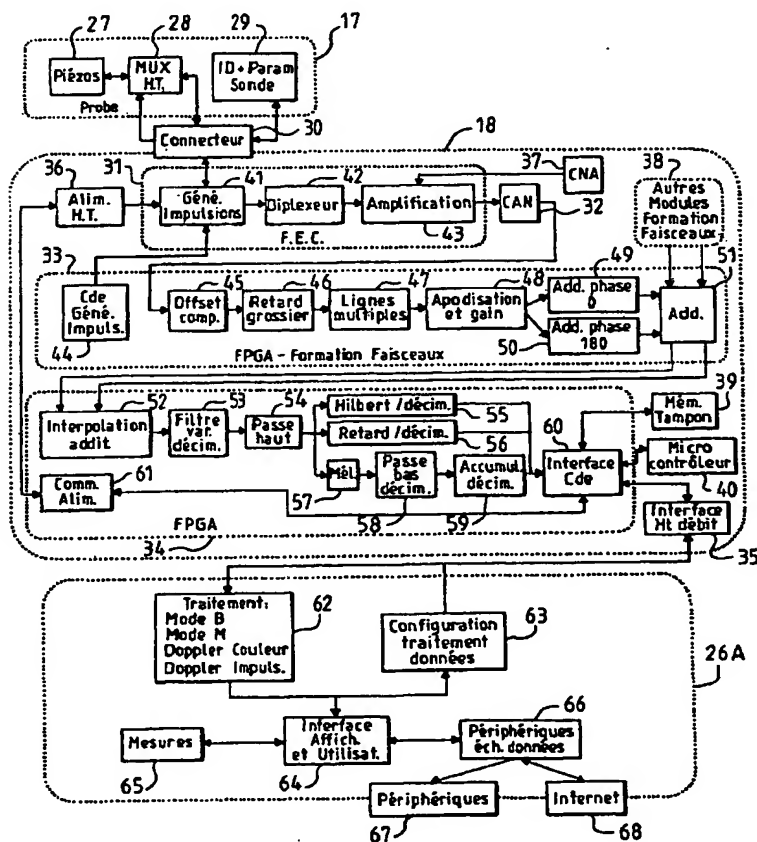
(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : DE FRAGUIER, Sixte [FR/FR]; Thales Intellectual Property, 31-33, avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil Cedex (FR). SORENSEN, Tore [NO/FR]; Thales Intellectual Property, 31-33, Avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

(74) Mandataires : CHAVERNEFF, Vladimir etc.; Thales Intellectual Property, 31-33, avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: ULTRASONIC IMAGING SOFTWARE AND HARDWARE PACK

(54) Titre : ENSEMBLE MATERIEL ET LOGICIEL D'IMAGERIE ULTRASONORE



(57) Abstract: An ultrasonic imaging pack (16) consisting of an ultrasonic imaging pre-processing hardware part and a software part which is installed on a microcomputer, the hardware part including at least one ultrasonic probe (17) which is connected (17A) to a module consisting of electronic circuits (18) of which at least one part can be configured, said module comprising analog FEC circuits (31), a set of analog/digital converters, a network of electronic gateways (33, 34) and a high-speed link (35) between the module and the microcomputer, the software part being stored on a removable medium (26).

(57) Abrégé : Pack d'imagerie ultrasonore (16) se composant d'une partie matérielle de pré-traitement d'imagerie ultrasonore et d'une partie logicielle destinée à être installée sur un micro-ordinateur, la partie matérielle incluant au moins une sonde ultrasonore (17) reliée (17A) à un module (18) de circuits électroniques dont au moins une partie est configurable, ce module comprenant des circuits FEC analogiques (31), un ensemble de convertisseurs analogique/numérique, un réseau de portes électroniques logiques (33, 34) et une liaison à haut débit (35) entre ce module et le micro-ordinateur, la partie logicielle étant mémorisée sur un support amovible (26).



WO 03/076965 A1



(81) États désignés (*national*) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*régional*) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,

TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

ENSEMBLE MATERIEL ET LOGICIEL D'IMAGERIE ULTRASONORE

La présente invention se rapporte à un ensemble matériel et logiciel d'imagerie ultrasonore. Pour simplifier, cet ensemble sera appelé « pack » par la suite.

Depuis son introduction, avant la fin des années 1970, l'imagerie ultrasonore a beaucoup évolué. Cependant, l'architecture générale du matériel électronique d'imagerie est restée à peu près inchangée depuis que l'on a commencé à utiliser des sondes à balayage électronique vers la fin des années 1970, cet ensemble matériel étant dénommé échographe.

Un échographe est un appareil complet, qui fonctionne de manière autonome, avec son propre bloc d'alimentation électrique. Certains échographes sont volumineux et montés sur des grosses roulettes, d'autres, moins volumineux, sont portables et munis de poignées à cet effet.

En général, les appareils haut de gamme sont volumineux et/ou très onéreux, car, pour pouvoir produire en temps réel des images de bonne qualité, ils doivent comporter des sondes à grand nombre de capteurs (de préférence au moins 64 capteurs), et par conséquent un grand nombre de circuits de traitement des signaux issus de ces capteurs (circuits d'amplification de chacune des voies, circuits de séparation des signaux d'émission des signaux de réception, circuits de formation de voies -appelés aussi circuits de formation de faisceaux-, processeurs d'imagerie en noir et blanc, processeurs d'imagerie Doppler, convertisseurs d'image - appelés « scan converters », ...).

Il y a encore une quinzaine d'années, parmi les circuits précités, seul le convertisseur d'images était numérique. Depuis, grâce à la miniaturisation des circuits intégrés numériques et à l'augmentation de la densité de leurs fonctions, les diverses fonctions des échographes ont été mises en œuvre à l'aide de processeurs numériques. Etant donné que les échos recueillis par les sondes des échographes sont des signaux analogiques, ceux-ci doivent être convertis en signaux numériques pour pouvoir être traités par lesdits processeurs numériques. Des échos de chacune des voies sont numérisés par un convertisseur analogique/numérique. Le nombre et la position dans la chaîne de traitement des signaux de ces convertisseurs dépendent en particulier de la puissance

de calcul des processeurs numériques de cette chaîne de traitement, ainsi que des caractéristiques de ces convertisseurs.

Les échos sont traités (amplifiés par des amplificateurs à faible bruit avec un niveau d'amplification qui varie avec le temps pour compenser les pertes de propagation) dans des circuits « frontaux » (dits « F.E.C. » en anglais, c'est-à-dire « Front End Conditioning ») qui incluent un circuit de séparation des signaux d'émission, qui sont de niveau élevé, de ceux de réception, qui ont un faible niveau. Ces circuits FEC sont généralement suivis de convertisseurs analogique/numérique, eux-mêmes suivis d'un formateur de faisceaux. Il est à noter qu'à l'entrée du formateur de faisceaux, le flux de données est de l'ordre de 20 Gbits/s pour 64 voies de signaux à traiter. Ce traitement ne peut être effectué qu'avec des processeurs spécialisés conçus à cet effet. Les échographes récents de haut de gamme, plutôt que de mettre en œuvre un formateur de voies analogique à lignes à retard (qui ne sont pas stables et ont un retard limité), font appel à des processeurs numériques qui sont coûteux et encombrants. Le coût et l'encombrement des échographes peuvent être réduits si l'on réduit le nombre de voies du capteur, mais cela se fait au détriment de la qualité de l'image échographique.

Une autre évolution récente dans la réalisation des échographes consiste à utiliser des ordinateurs personnels (PC) en leur incorporant des circuits et des logiciels spécifiques aux échographes. Ainsi, on connaît, par exemple, d'après le brevet US 6 325 759, un échographe dont le formateur de faisceaux est configurable et monté sur la carte mère d'un PC. Une telle solution, bien que réduisant le coût d'un échographe, n'est pas évolutive.

On connaît d'après le brevet US 5 957 846 un échographe compact dans lequel les circuits FEC et le formateur de faisceaux sont incorporés dans le boîtier de la sonde, et sont reliés par une liaison, non décrite, à un micro-ordinateur portable. A cet effet, le dispositif connu fait appel à des composants spéciaux, les CCD, qui permettent de produire des retards sous forme analogique, de façon plus performante que ne le permettent les circuits LC traditionnels. Un seul convertisseur analogique/numérique est nécessaire. Cette solution, bien que permettant d'obtenir un appareil particulièrement compact, présente tous les inconvénients des dispositifs à formation de voies analogique, surtout en ce

qui concerne la dynamique du signal traité, et interdit les traitements entre images.

Par ailleurs, il est de plus en plus nécessaire d'associer des images échographiques à d'autres types d'images permettant d'effectuer un diagnostic plus complet et plus fiable. On parle alors de fusion d'examens cliniques. Ainsi, par exemple, dans le cas de la lithotritie, il est nécessaire d'avoir un repérage par imagerie ultrasonore du calcul à détruire. Il n'est alors pas nécessaire de mettre en œuvre un appareil échographique complet.

En outre, pour de nombreuses applications, il faut pouvoir disposer de données brutes sous forme de valeurs d'amplitude et de phase, c'est-à-dire avant détection, pour pouvoir les fusionner avec d'autres informations. Pour pouvoir accéder à ces données brutes, on a déjà essayé de démonter un échographe et d'installer des prises de signaux sur les circuits délivrant ces données, mais les résultats ont toujours été décevants du fait qu'il existe de nombreuses optimisations matérielles et logicielles au sein d'un appareil, ce qui fait qu'en « ouvrant la boucle », on en perturbe le fonctionnement. Pour éviter ces problèmes, on a construit des bancs de mesure onéreux et spécifiques pour accéder aux données brutes recherchées.

La présente invention a pour objet un « pack » d'imagerie ultrasonore qui soit le plus modulaire et évolutif possible, qui permette d'associer facilement l'échographie à d'autres types d'examens, et ce, aux moindres frais, et sans nuire à la qualité de ces examens.

L'ensemble d'imagerie ultrasonore conforme à l'invention se compose d'une partie matérielle de pré-traitement d'imagerie ultrasonore et d'une partie logicielle, destinée à être installée sur un micro-ordinateur, la partie matérielle incluant au moins une sonde ultrasonore reliée à un module de circuits électroniques dont au moins une partie est configurable, ce module comprenant des circuits FEC analogiques, des convertisseurs analogique/numérique, un réseau de portes électroniques logiques et une liaison à haut débit entre ce module et le micro-ordinateur, la partie logicielle étant mémorisée sur un support amovible.

Selon une autre caractéristique, le réseau de portes électroniques est configurable par logiciel en calculateurs spécialisés de formation de

voies, en mémoire distribuée, en filtres numériques, démodulateur et interface de commande.

Selon une autre caractéristique, la partie logicielle configure les éléments configurables de la partie matérielle et installe sur le micro-ordinateur des programmes de calcul et de présentation de données
5 d'imagerie ultrasonore.

Selon une autre caractéristique, les programmes installés sur le micro-ordinateur comportent des programmes de production d'images ultrasonores en niveaux de gris et/ou d'images Doppler en couleurs, et/ou de
10 production d'informations de Doppler continu et/ou d'affichage de boutons de contrôle de paramètres de traitement et /ou de traitements de fusion avec des données extérieures.

Selon une autre caractéristique, le convertisseur analogique/numérique est du type Sigma-Delta configurable par logiciel.

15 Selon une autre caractéristique, le réseau de portes électroniques comporte des circuits de type Field Programmable Gate Arrays.

Selon une autre caractéristique, la liaison à haut débit transmet plusieurs voies numériques.

Selon une autre caractéristique, la liaison à haut débit est de type
20 IEEE1394.

Selon une autre caractéristique, l'ensemble matriciel et logiciel est incorporé dans un ensemble d'instrumentation médicale.

Selon une autre caractéristique, l'ensemble d'instrumentation comporte des équipements de chirurgie ou de micro-chirurgie.

25 Selon une autre caractéristique, l'ensemble d'instrumentation médicale comporte des appareils fournissant des données médicales complémentaires des données ultrasonores.

Selon une autre caractéristique, les données médicales complémentaires comportent au moins l'une des sortes de données
30 suivantes : données de caméras optiques, données de diagnostic et de surveillance gynécologique et/ou cardiaque.

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée d'un mode de réalisation, pris à titre d'exemple non limitatif et illustré par le dessin annexé, sur lequel :

- La figure 1 est un bloc-diagramme d'un échographe de l'art antérieur ;
- La figure 2 est un bloc-diagramme simplifié d'un échographe conforme à l'invention ; et
- 5 ▪ La figure 3 est un bloc-diagramme détaillé d'un exemple de réalisation de l'échographe de la figure 2.

L'échographe de l'art antérieur schématisé en figure 1 comporte une sonde multi-éléments 1 qui est une antenne acoustique placée en contact avec le corps à observer. Il existe plusieurs types de telles antennes, 10 que l'on classe généralement en trois catégories : les antennes mécaniques, les antennes dites « phased arrays » et les antennes à balayage linéaire dites « antennes linéaires ». Les deux dernières catégories sont dites « électroniques ». Pour ces deux catégories, les signaux reçus d'un point du corps par les différents capteurs élémentaires subissent des traitements 15 particuliers compensant leurs pertes de propagation et leurs retards. Ces retards sont calculés pour que toutes les émissions ultrasonores issues de chacun des capteurs élémentaires arrivent en phase sur le corps exploré par la sonde, et que tous les signaux réfléchis par ce corps soient additionnés en phase.

20 Dans le cas d'une antenne dite « phased array », une loi de retard variant linéairement le long de l'antenne, qui est plane, s'ajoute à la loi parabolique, ce qui permet de faire converger le faisceau ultrasonore émis par la sonde en dehors de son axe, et de recueillir les échos des points situés le long d'un axe correspondant au retard entre chaque capteur 25 élémentaire. La série d'échos recueillis dans le temps dans une direction donnée s'appelle une ligne ou une voie. L'image ultrasonore, que l'on affiche sur un écran de visualisation 2, est constituée de l'ensemble des lignes couvrant la surface du corps à observer.

La sonde 1 est suivie d'un multiplexeur 3, lui-même suivi d'un 30 ensemble 4 de circuits appelé « Front End Conditioning » (F.E.C.). Cet ensemble 4 est chargé de transmettre vers la sonde 1 les signaux ultrasonores d'observation et de recueillir les échos perçus par la sonde 1 en les amplifiant à l'aide d'amplificateurs à faible bruit, avec un niveau d'amplification qui varie avec le temps pour compenser les pertes de 35 propagation du signal ultrasonore. Cet ensemble 4 comporte également le

circuit de séparation des signaux d'émission, qui sont de niveau élevé, des signaux de réception (échos) qui sont de faible niveau.

Le FEC 4 est suivi d'un ensemble 5 de convertisseurs analogique/numérique comportant au maximum autant de convertisseurs qu'il y a de canaux analogiques (c'est-à-dire autant qu'il y a de capteurs élémentaires dans la sonde 1). Les signaux numériques issus des différents convertisseurs de l'ensemble 5 sont traités (filtrés, retardés et additionnés) par un circuit 6 appelé « formateur de faisceaux » ou « formateur de voies » (« Beam Former » en anglais), ce circuit 6 constituant un pré-processeur des échos. A la sortie du circuit 6, on recueille un signal qui, en fonction du temps, correspond à une ligne d'image. Une image ultrasonore totale est constituée en répétant l'opération émission-réception sur l'ensemble des lignes à explorer (en déplaçant la sonde parallèlement à la ligne d'image).

On notera que le paramètre n du nombre de signaux additionnés simultanément (et inférieur ou égal au nombre de capteurs élémentaires de la sonde 1) lors de la formation de faisceaux est un paramètre très important d'un échographe. La qualité de l'image observée, et en particulier son contraste, est directement liée à ce paramètre n . En effet, si on considère qu'un écho en provenance d'un point du corps sur lequel est appliquée la sonde donne un signal d'amplitude A sur un des capteurs élémentaires de la sonde, l'amplitude du signal à la sortie du circuit de formation de voies est $n.A$ pour ce seul écho. Ce signal sera n fois plus fort que les signaux qui n'arrivent pas en même temps que lui.

Le formateur de faisceaux 6 est suivi de plusieurs processeurs spécialisés, à savoir un processeur d'imagerie en noir et blanc 7, un processeur de détection de turbulences sanguines (dit « Color Flow Mapping ») 8 et un processeur Doppler 9. Le processeur 7 produit l'image échographique traditionnelle à niveaux de gris, dans laquelle l'intensité de chaque point de l'image est fonction de l'amplitude de l'écho correspondant. Le processeur 7 détecte cette amplitude, effectue différents traitements pour éviter le « speckle » (tavelures) dû à des interférences entre échos multiples et effectue une compression de dynamique pour rendre le signal apte à être affiché sur l'écran 2 dont la dynamique est limitée.

Le processeur 8 d'imagerie Doppler calcule, pour chacun des points de l'image une valeur de la moyenne de la variation de fréquence de

l'écho, correspondant à une vitesse moyenne du sang. Les images Doppler sont généralement superposées à l'image noir et blanc sous forme codée en couleurs. On parle alors d'image en couleurs.

Le processeur 9 fournit le spectre complet des variations de
5 fréquence Doppler, ce qui donne une indication sur le caractère turbulent ou non du flux sanguin.

Les trois processeurs 7 à 9 sont reliés à un convertisseur d'image (« Scan Converter ») 10, qui transforme le signal recueilli arrivant suivant des lignes formant un secteur en une image vidéo observable sur un écran.

10 L'échographe connu comporte également un panneau de commande 11 muni d'un clavier 12 et de boutons de contrôle 13, pour commander le moniteur 2 et permettant à l'utilisateur de choisir et de modifier les paramètres de la machine, en passant par un circuit contrôleur et cadenceur 14 qui commande les processeurs 6 à 9. En outre, l'échographe
15 comporte divers périphériques tels que des mémoires 15, et un enregistreur d'images (magnétoscope, enregistreur DVD,...), un dispositif reprographique pour imprimer des images fidèles à celles affichées sur l'écran du moniteur 2, ... (non représentés en figure 1).

On a représenté en figure 2 les éléments principaux de l'ensemble
20 matériel et logiciel 16 conforme à l'invention. La partie matérielle comporte une sonde électronique 17, à 128 canaux par exemple, munie avantageusement d'un démultiplexeur, par exemple, un démultiplexeur 128 → 64 (à 64 canaux de sortie pour l'exemple présent de 128 canaux entrants) reliée par un câble 17A à un module 18 de circuits
25 personnalisables, décrits plus en détail en référence à la figure 3. Ce module 18 comporte essentiellement des circuits FEC analogiques 19, un ensemble de n convertisseurs analogique/numérique 20, un dispositif de formation de faisceaux 21, un dispositif de commande 22 et une interface de sortie 23 à haut débit (par exemple de type IEEE1394). Le dispositif 22 commande les
30 dispositifs 19, 20, 21 et 23. L'interface 23 est reliée par une liaison à haut débit 24 à un micro-ordinateur 25 approprié, qui peut être, par exemple, un PC portable et dont la partie matérielle n'a à subir aucune modification. La liaison 24 transmet depuis le module 18 plusieurs voies numériques au PC 25. L'ensemble 16 comprend également une partie logicielle, qui est par
35 exemple stockée sur un CD-ROM 26, ou sur tout autre support-mémoire

amovible (DVD-ROM, disque dur amovible, ...) et un guide d'installation et d'utilisation (avec, le cas échéant, un guide de tests et de maintenance) qui peut être imprimé, ou, de préférence, stocké sur le support amovible 26.

La partie logicielle peut être facilement installée sur le PC 25, dont
5 les caractéristiques (mémoire suffisante et processeur rapide) permettent d'exploiter le logiciel de façon optimale. L'installation du pack de l'invention consiste à établir les connexions électriques entre les composants (entre les éléments 17, 18 et le PC 25) et à lancer le logiciel lorsque le CD-ROM 26 a été inséré dans le lecteur correspondant du PC. Ce logiciel commande la
10 configuration des divers circuits configurables du module 18 en fonction de la sonde utilisée, en fonction des traitements à effectuer, ainsi que la configuration du PC pour que celui-ci puisse recevoir les voies formées par le formateur de faisceaux 21, les filtrer et les détecter, les convertir en images vidéo, les afficher sur son écran de visualisation, faire les calculs Doppler,
15 générer les images Doppler, et effectuer tous les autres traitements nécessaires.

L'utilisateur a ainsi accès à tous les aspects des données d'imagerie ultrasonore qu'il exploitera selon ses propres besoins : imagerie ultrasonore classique en appliquant la sonde choisie sur le corps à visualiser
20 ou récupération de données brutes provenant de la sonde, ou de données partiellement traitées, en vue de leur fusion avec d'autres types de données.

Le programme d'application de la partie logicielle comporte non seulement les paramètres de fonctionnement du module 18 (formes d'ondes des signaux transitant dans les divers circuits de ce bloc, tensions
25 d'excitations des capteurs élémentaires de la sonde, paramètres de filtrage,...), mais aussi et surtout la structure même du traitement des données, et donc la structure même du traitement des données, et donc la structure même du pré-processeur formé par le module 18. En changeant le programme d'utilisation (inscrit sur le support amovible 26), on peut ainsi
30 changer considérablement la nature du traitement de données effectué par le pack de l'invention.

Le pack de l'invention présente ainsi l'avantage d'un faible coût de développement, et surtout un faible coût de fabrication, et ce, pour des performances élevées. Le développement matériel se limite à la carte
35 supportant les circuits du module 18. Ce pack est raccordé à une sonde

traditionnelle, mais peut également utiliser des sondes spécifiques. Le P.C. 25 est d'un type couramment disponible (par exemple un processeur à 700 MHz, une mémoire RAM d'une capacité de 128 Mbits, un lecteur de CR-ROM, et un disque dur de 10 GO).

5 Le PC peut être optimisé simplement par chargement du logiciel approprié du support amovible 26, et dès qu'apparaissent de nouveaux algorithmes de traitement, ceux-ci peuvent être chargés dans le PC sans que l'on ait à modifier physiquement le module 18.

10 Les progrès récents en matière d'échographie portent surtout sur la partie logicielle des échographes. On peut citer par exemple :

- l'imagerie 3D qui consiste à former des images de contour 2D, puis à constituer une image 3D par déplacement de la sonde ;
- les images d'intensité Doppler ;
- les images de vitesses sanguines parallèles à la ligne de capteurs de la sonde (là où la vitesse Doppler est nulle) ;
- l'imagerie de déformation ou de corrélation entre différentes images sous une déformation imposée de l'extérieur, et calcul de la déformation des tissus examinés ;
- l'imagerie d'élasticité par exploitation des algorithmes des imageries précitées.

20 Tous ces progrès peuvent être mis en œuvre dans le parc installé de produits conformes à l'invention par simple mise à jour de leur logiciel.

25 Grâce à sa configurabilité, le pack de l'invention peut être exploité dans des configurations et des applications très variées, permettant ainsi une standardisation de fait de sa partie matérielle. Pour développer des applications nouvelles, il ne sera pas nécessaire, le plus souvent, de développer un matériel nouveau, mais simplement un nouveau logiciel. Les éventuels nouveaux algorithmes de traitement d'antennes (de traitement des signaux de la sonde) peuvent également être implantés par mise à jour

30 logicielle, par exemple pour pouvoir utiliser des antennes adaptatives.

Etant donné que les composants des micro-ordinateurs évoluent rapidement, et en particulier la capacité de leurs disques durs (on propose actuellement couramment des disques durs de plus de 100 GO), ils permettent de stocker facilement non plus quelques images, mais la totalité

35 d'un examen de longue durée. En outre, du fait que l'information transmise

au PC est sous forme d'une amplitude et d'une phase d'un signal, celui-ci peut être stocké et traité plusieurs années plus tard à l'aide d'algorithmes non inventés au moment de l'examen.

Dans de nombreuses applications médicales, on exploite des informations fournies par des capteurs différents. C'est le cas, par exemple, de la chirurgie ou de la microchirurgie assistée par ordinateur. Des caméras optiques sont utilisées pour produire des images de synthèse qui sont comparées aux images réelles, fournies par d'autres caméras optiques, pour mieux repérer la partie de l'organe à traiter. Tandis que la caméra optique ne permet de voir que l'extérieur de cet organe, la « caméra » acoustique (la sonde ultrasonore) permet de « voir » à l'intérieur de cet organe sans l'ouvrir, et devient indispensable à l'optimisation du tracé du scalpel, ce qui permet de réduire le traumatisme opératoire. Ainsi, le pack de l'invention est avantageusement incorporé dans un ensemble d'instrumentation médicale, qui comporte des équipements de chirurgie ou de micro-chirurgie. Cet ensemble d'instrumentation médicale comporte des appareils fournissant des données médicales complémentaires des données ultrasonores. Ces données médicales complémentaires sont par exemple des données de caméras optiques et/ou des données de diagnostic et de surveillance gynécologique et/ou cardiaque.

On a représenté en figure 3, un exemple de réalisation du pack 16. Ce pack comprend essentiellement trois parties, qui sont la sonde 17, le module 18 et la partie logicielle 26A implantée dans le PC.

La sonde 17 comprend un ensemble 27 de capteurs piézoélectriques, un multiplexeur 28 et une mémoire 29 dans laquelle sont mémorisés les paramètres caractéristiques de la sonde et son identité.

La sonde 17 est reliée par un câble comportant un connecteur 30 au module 18 qui comporte cinq sous-ensembles principaux : des circuits FEC 31, un convertisseur analogique-numérique 32, des circuits formateurs de faisceaux 33, des circuits 34 de mémoire distribuée, de commande, de démodulation, et d'interface, et une interface 35 de liaison au PC. Les circuits 31 à 35 correspondent respectivement aux éléments 19 à 23 de la figure 2. Le module 18 comprend en outre une alimentation haute tension 36 alimentant les circuits 31, des convertisseurs numérique/analogique 37 commandant les amplificateurs du sous-ensemble 31, des modules de

formation de faisceaux supplémentaires 38 identiques au module 33, qui sont également reliés à la sortie de l'ensemble de convertisseurs 32, une mémoire tampon 39 et un micro-contrôleur 40 reliés au sous-ensemble 34.

Le sous-ensemble FEC 31 comprend un générateur d'impulsions ultrasonores 41 alimenté par l'alimentation 36 et relié d'une part par le connecteur 30 à la sonde 17, et d'autre part par un diplexeur 42 à des circuits d'amplification 43. Ces circuits d'amplification sont commandés par le programme du PC (par une liaison non représentée) via les convertisseurs 37.

Le formateur de faisceaux 33 comporte d'une part un circuit 44 de commande du générateur d'impulsions 41, et d'autre part une chaîne de traitement numérique de signal reliée à la sortie du convertisseur 32 et se composant successivement d'un compensateur d'offset 45, d'un circuit de retard grossier 46, d'un circuit 47 de traitement de lignes de balayage multiples, d'un circuit 48 d'apodisation et d'amplification, de deux circuits en parallèle 49, 50 d'addition de phase nulle (sans déphasage) et de déphasage de 180°, respectivement, et d'un circuit 51 en cascade d'addition. Le circuit 51 est relié d'autre part à la sortie des circuits 38.

Le sous-ensemble 34 comporte, dans l'ordre de progression des signaux qu'il traite : un circuit 52 d'interpolation et d'addition relié à la sortie du circuit 51, un filtre 53 à caractéristiques variables et à décimation, un filtre passe-haut 54 dont la sortie est reliée à la fois à trois circuits : un filtre 55 à transformée de Hilbert et décimation, un circuit 56 de retard et décimation, et un mélangeur 57 suivi d'un filtre passe-bas à décimation 58 et d'un accumulateur à décimateur 59. Les sorties des circuits 55, 56 et 59 sont reliées à un circuit 60 d'interface et de commande. Le circuit 60 est relié de façon bidirectionnelle à la mémoire 39, au micro-contrôleur 40, à l'interface haut débit 35 et à un circuit 61 de commande et de surveillance de l'alimentation 36. Les fonctions assurées par les différents blocs des sous-ensembles des modules 17 et 18 sont connues en soi et ne seront pas décrites en détail ici.

On a également représenté en figure 3, sous forme de blocs de fonctions, la partie logicielle 26A du pack de l'invention lorsqu'elle est installée sur le PC 25 et opérationnelle. La partie logicielle configure les éléments configurables de la partie matérielle et installe sur le micro-

ordinateur 25 des programmes de calcul et de présentation de données d'imagerie ultrasonore. Cette partie logicielle 26A comporte en entrée une fonction 62 de traitement en mode B, en mode M, de couleur Doppler et de Doppler impulsionnel, et une fonction 63 de configuration des circuits
5 configurables du module 18. Ces deux fonctions 62 et 63 communiquent avec le module 18 par l'intermédiaire de l'interface 35. La fonction 62 échange des données dans les deux sens avec le module 18, tandis que la fonction 63 envoie des ordres de configuration et les données correspondantes au module 18.

10 La fonction 62 commande une fonction 64 d'affichage et d'interface utilisateur. Cette fonction 64 produit l'affichage sur l'écran du PC des images traitées par la fonction 62, et d'autre part transmet les données brutes ou traitées provenant du module 18 à une fonction de mesure 65 et à une fonction 66 de commande de matériels périphériques 67 et d'échange
15 de données transmises par une interface 68, qui peut être, par exemple, une interface de type Internet.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, les sous-ensembles 33 et 34 sont constitués de circuits programmables FPGA (Field Programmable Gate Array) constitués de portes logiques, par exemple des
20 circuits de la société Xilinx. Le module 18 comporte pour les sous-ensembles 33 et 34 cinq telles portes, qui sont configurées de façon à leur faire traiter 4 voies de $n = 64$ capteurs ou bien 2 voies de 128 capteurs, ou bien encore une voie de 128 capteurs. L'ensemble des circuits 31 à 34, réalisé selon les technologies actuelles, occupe un encombrement de 20 x 30 cm si les FEC
25 31 ne sont pas intégrés. Si l'on exploitait des circuits intégrés analogiques spécifiques pour réaliser ces FEC, l'encombrement des éléments 31 à 34 pourrait être divisé par 3.

Selon une variante de réalisation, on ajoute juste avant le FEC 31 des multiplexeurs d'entrée qui permettent d'utiliser indifféremment des
30 sondes de type « phased array » de 64 capteurs ou de 128 capteurs, des sondes linéaires ou courbes de 128, 192 ou 256 capteurs.

Selon un mode de réalisation avantageux, les convertisseurs analogique/numérique 32 ne sont pas complets : on utilise des convertisseurs ultra-rapides, mais de faible « profondeur » (c'est-à-dire au
35 minimum une définition des données sur 1 bit de donnée et 1 bit de signe). A

titre d'exemple, les fréquences maximales des signaux échographiques sont d'environ 15 MHz. Le respect du critère de Nyquist conduit à utiliser des convertisseurs 32 dont la fréquence d'horloge est de 33 MHz. La profondeur minimale des informations des capteurs est de 10 bits et 1 bit de signe, et le

5 mode de réalisation décrit ici utilise lesdits convertisseurs ultra-rapides, fonctionnant à des fréquences d'horloge de quelques centaines de MHz. Un algorithme de calcul appelé « Sigma-Delta » permet d'exploiter le suréchantillonnage pour calculer les bits de profondeur manquants. Cet algorithme peut être implanté dans le réseau de portes FGPA du module 18,

10 sous forme logicielle, c'est-à-dire par des ordres de provenance du PC et passant par l'interface 35. Ainsi, la configurabilité du pack de l'invention s'étend au convertisseur analogique/numérique.

Selon un autre mode de réalisation, le convertisseur 32 est réalisé à l'aide de circuits à fréquence d'horloge de 300 MHz environ, mais de

15 quelques bits de profondeur (par exemple 8 bits). Par calcul, on transforme ces convertisseurs 8 bits en convertisseurs 11 bits à fréquence d'horloge de 33 MHz environ.

Dans ces modes de réalisation à convertisseurs à faible profondeur, l'avantage réside dans la forte réduction du nombre de sorties du

20 convertisseur que l'on a à relier aux entrées du sous-ensemble 33, ce qui permet de diminuer très sensiblement l'encombrement du module 18.

Selon encore un autre mode de réalisation, la sonde comporte plusieurs lignes de capteurs. On dit qu'elle est de type 1,5 D. Bien entendu, pour pouvoir raccorder une telle sonde, il faut équiper le module 18 d'un

25 connecteur spécifique approprié. Par chargement dans le module 18 d'un logiciel d'exploitation correspondant, on peut obtenir des images avec formation de voies en élévation.

Selon encore un autre mode de réalisation, on utilise une sonde bidimensionnelle, c'est-à-dire comportant un réseau de capteurs ultrasonores

30 2D. Bien entendu, dans ce cas on augmente l'encombrement des FEC, qui est fonction du nombre total de capteurs élémentaires de la sonde. Par contre, la fonction de formation de faisceaux ne comporte que quelques circuits complémentaires.

REVENDICATIONS

1. Ensemble matériel et logiciel d'imagerie ultrasonore (16) se composant d'une partie matérielle de pré-traitement d'imagerie ultrasonore et d'une partie logicielle destinée à être installée sur un micro-ordinateur, la partie matérielle incluant au moins une sonde ultrasonore (17) reliée (17A) à un module (18) de circuits électroniques dont au moins une partie est configurable, ce module comprenant des circuits FEC analogiques (31), un ensemble de convertisseurs analogique/numérique (32), un réseau de portes électroniques logiques (33, 34) et une liaison à haut débit (35) entre ce module et le micro-ordinateur, la partie logicielle étant mémorisée sur un support amovible (26).
2. Ensemble selon la revendication 1, caractérisé par le fait que le réseau de portes électroniques est configurable par logiciel en calculateurs spécialisés de formation de voies (33), en mémoire distribuée, en filtres numériques, démodulateur et interface de commande (34).
3. Ensemble selon la revendication 1 ou 2, caractérisé par le fait que la partie logicielle configure les éléments configurables de la partie matérielle (32, 33, 34) et installe sur le micro-ordinateur des programmes de calcul et de présentation de données d'imagerie ultrasonore.
4. Ensemble selon la revendication 3, caractérisé par le fait que les programmes installés sur le micro-ordinateur comportent des programmes de production d'images ultrasonores en niveaux de gris et/ou d'images Doppler en couleurs, et/ou de production d'informations de Doppler continu et/ou d'affichage de boutons de contrôle de paramètres (13) de traitement et /ou de traitements de fusion avec des données extérieures.
5. Ensemble selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que le convertisseur analogique/ numérique est du type Sigma-Delta configurable par logiciel.
6. Ensemble selon l'une des revendications 2 à 5, caractérisé par le fait que le réseau de portes électroniques comporte des circuits de type Field Programmable Gate Arrays. (FGPA).
7. Ensemble selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que la liaison à haut débit transmet plusieurs voies numériques.

8. Ensemble selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que la liaison à haut débit est de type IEEE1394.

9. Ensemble selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait qu'il est incorporé dans un ensemble d'instrumentation
5 médicale.

10. Ensemble selon la revendication 9, caractérisé par le fait que l'ensemble d'instrumentation comporte des équipements de chirurgie ou de micro-chirurgie.

11. Ensemble selon la revendication 9 ou 10, caractérisé par le fait
10 que l'ensemble d'instrumentation médicale comporte des appareils fournissant des données médicales complémentaires des données ultrasonores.

12. Ensemble selon la revendication 11, caractérisé par le fait que les données médicales complémentaires comportent au moins l'une des
15 sortes de données suivantes : données de caméras optiques, données de diagnostic et de surveillance gynécologique et/ou cardiaque.

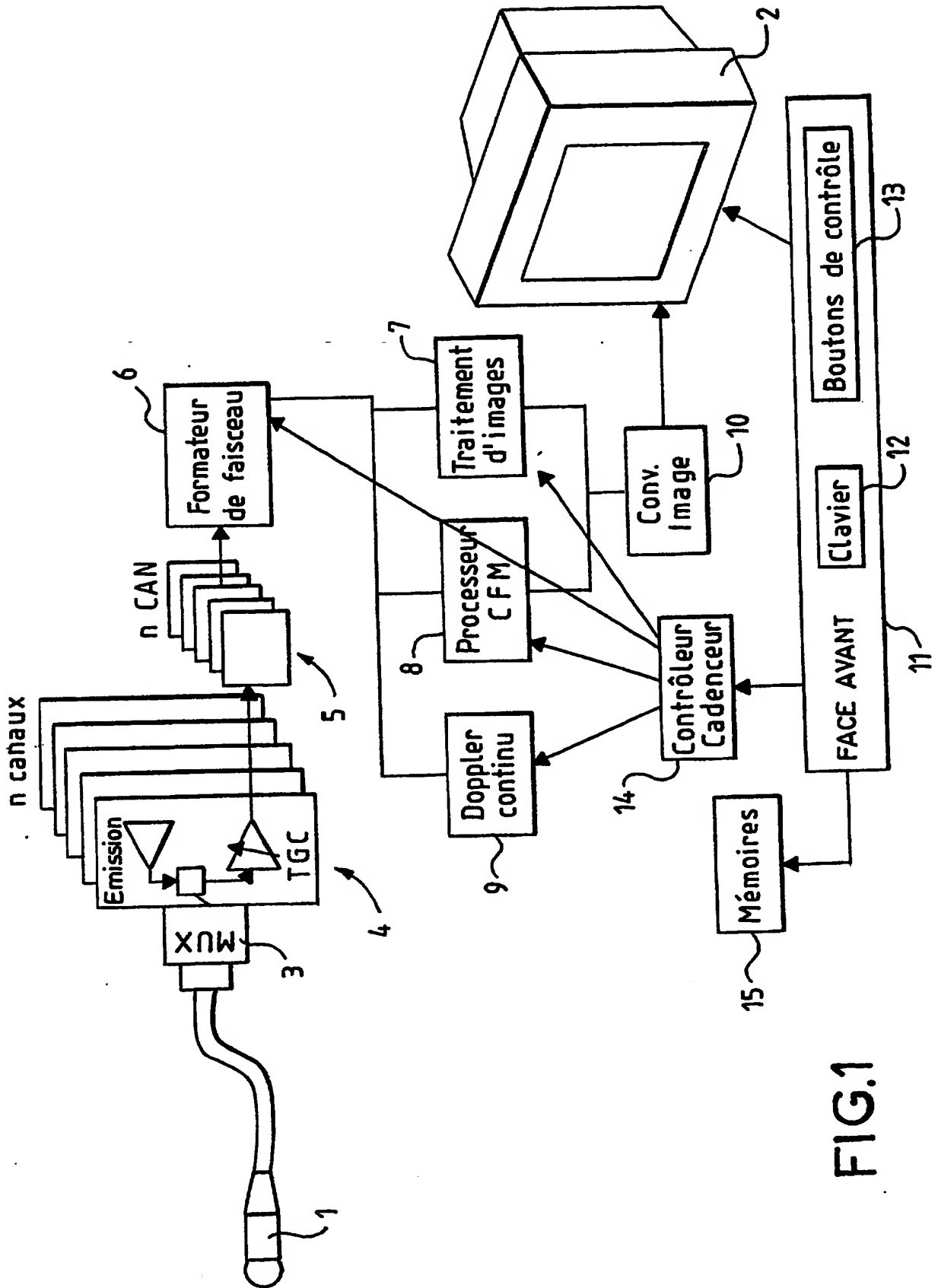


FIG.1

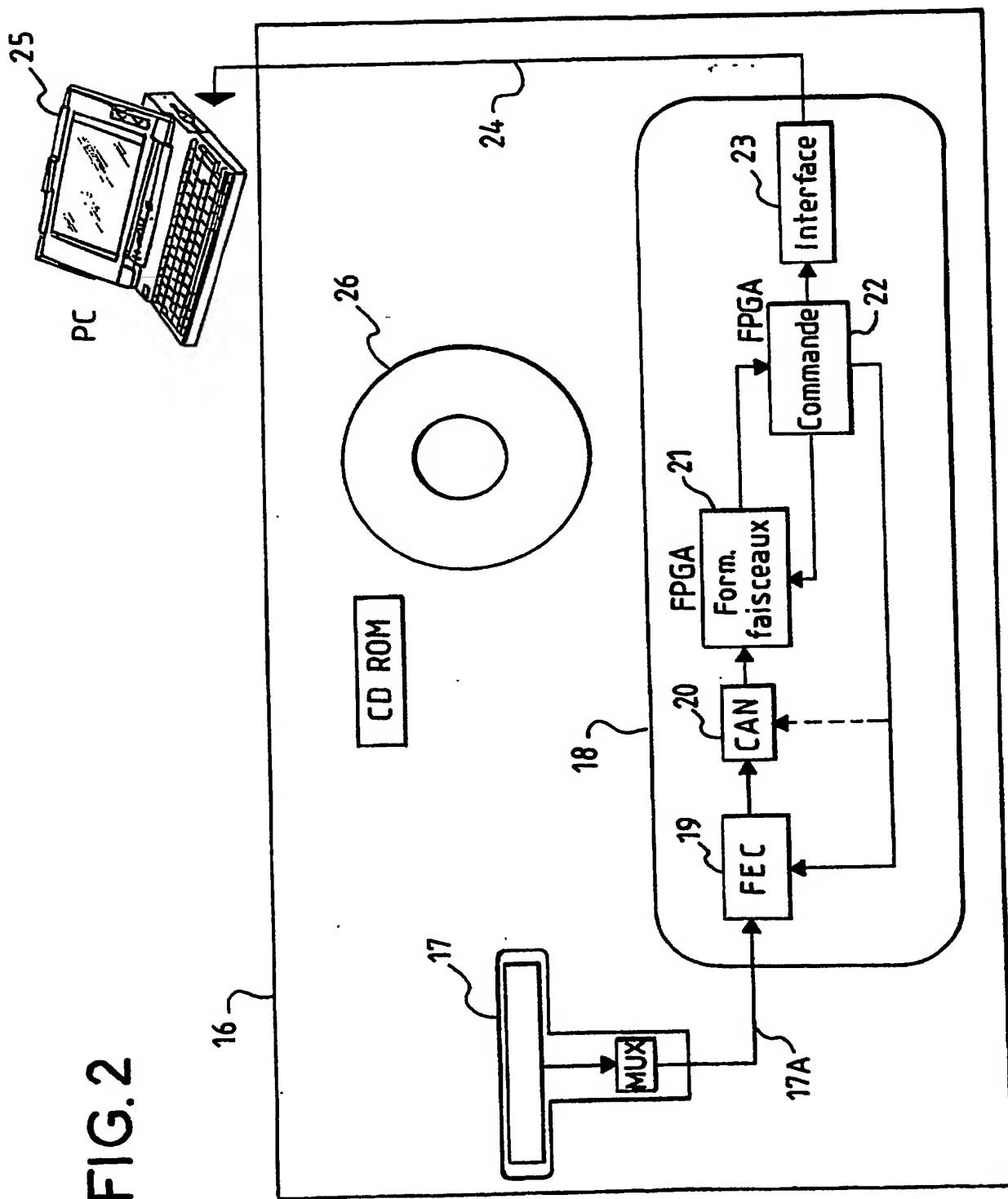
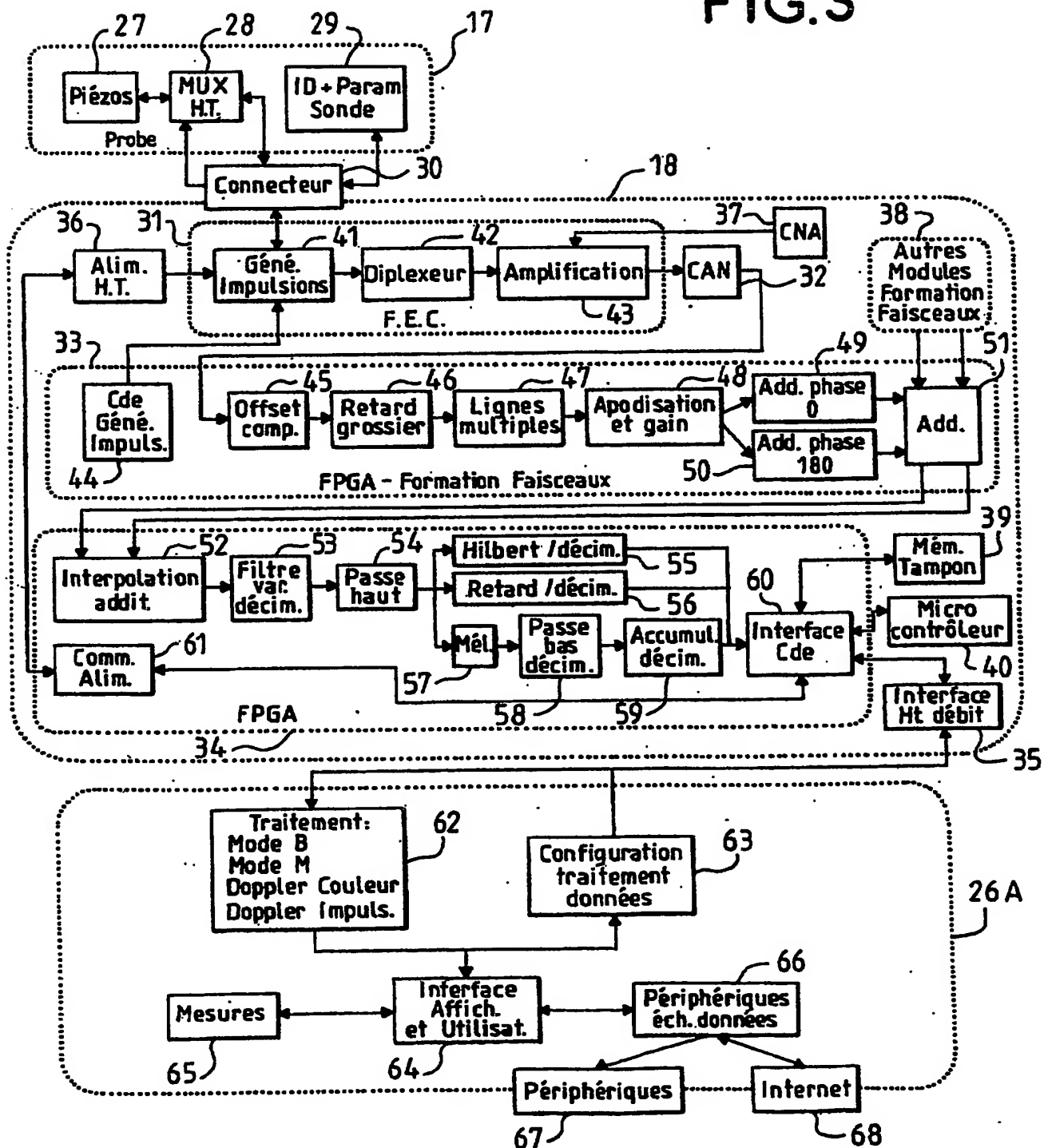


FIG.3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 03/00742

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01S15/89

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01S G06F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 00 79300 A (BROADSTONE STEVEN R ; GILBERT JEFFREY M (US); TERATECH CORP (US); C) 28 December 2000 (2000-12-28) abstract; figures 3A, 3D, 4A, 12 page 8, line 13 - page 9, line 22 page 10, line 18 - page 11, line 24 page 36, line 12 - line 21 page 40, line 8 - line 29	1-4, 6-9
Y		5, 10-12
Y	WO 00 10638 A (MUECAH & IDOT ; MUSTAFA KARAMAN (TR); BASKENT UNIVERSITY (TR)) 2 March 2000 (2000-03-02) abstract; figure 5	5

	-/--	



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 August 2003

Date of mailing of the international search report

21/08/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Niemeijer, R

BEST AVAILABLE COPY

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 03/00742

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5 957 846 A (BROADSTONE STEVEN R ET AL) 28 September 1999 (1999-09-28) cited in the application abstract; figures 3,4,40 column 13, line 14 - line 23 column 13, line 33 -column 15, line 4 column 34, line 32 - line 55 ----	10
Y	US 6 262 749 B1 (GURACAR ISMAYIL M ET AL) 17 July 2001 (2001-07-17) abstract; figure 1 column 3, line 8 - line 39 ----	11,12
A	US 5 758 649 A (ABE YOSHITAKA ET AL) 2 June 1998 (1998-06-02) abstract; figures 9,17 column 1, line 25 -column 2, line 11 column 10, line 29 - line 48 column 16, line 25 - line 48 ----	1
A	US 6 325 759 B1 (PELISSIER LAURENT) 4 December 2001 (2001-12-04) cited in the application abstract; figures 1,10 column 4, line 42 -column 5, line 54 column 13, line 36 -column 14, line 4 -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 03/00742

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0079300	A	28-12-2000	US 6530887 B1	11-03-2003
			AU 5633100 A	09-01-2001
			CA 2375525 A1	28-12-2000
			CN 1361871 T	31-07-2002
			EP 1194791 A1	10-04-2002
			JP 2003506172 T	18-02-2003
			WO 0079300 A1	28-12-2000
			WO 02068992 A2	06-09-2002
			US 2003073894 A1	17-04-2003
			US 2002120193 A1	29-08-2002
			US 2002067359 A1	06-06-2002
WO 0010638	A	02-03-2000	WO 0010638 A2	02-03-2000
US 5957846	A	28-09-1999	US 5690114 A	25-11-1997
			US 5590658 A	07-01-1997
			US 6106472 A	22-08-2000
			AU 700274 B2	24-12-1998
			AU 6344696 A	30-01-1997
			EP 0835458 A2	15-04-1998
			JP 11508461 T	27-07-1999
			US 2003028113 A1	06-02-2003
			US 6248073 B1	19-06-2001
			US 6379304 B1	30-04-2002
			US 5904652 A	18-05-1999
			US 5964709 A	12-10-1999
			CA 2225622 A1	16-01-1997
			TW 381226 B	01-02-2000
			WO 9701768 A2	16-01-1997
			ZA 9605568 A	29-01-1997
US 6262749	B1	17-07-2001	US 6300961 B1	09-10-2001
			US 2001035866 A1	01-11-2001
US 5758649	A	02-06-1998	JP 9122125 A	13-05-1997
US 6325759	B1	04-12-2001	AU 7502000 A	24-04-2001
			WO 0122115 A1	29-03-2001
			US 2002007119 A1	17-01-2002

BEST AVAILABLE COPY

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Derivé Internationale No
PCT/FR 03/00742

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 7 G01S15/89

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
CIB 7 G01S G06F

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 00 79300 A (BROADSTONE STEVEN R ; GILBERT JEFFREY M (US); TERATECH CORP (US); C) 28 décembre 2000 (2000-12-28)	1-4, 6-9
Y	abrégé; figures 3A, 3D, 4A, 12 page 8, ligne 13 - page 9, ligne 22 page 10, ligne 18 - page 11, ligne 24 page 36, ligne 12 - ligne 21 page 40, ligne 8 - ligne 29	5, 10-12
Y	WO 00 10638 A (MUECAH & IDOT ; MUSTAFA KARAMAN (TR); BASKENT UNIVERSITY (TR)) 2 mars 2000 (2000-03-02) abrégé; figure 5	5

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

T document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

- *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- *G* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

15 août 2003

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

21/08/2003

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Niemeijer, R

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 5 957 846 A (BROADSTONE STEVEN R ET AL) 28 septembre 1999 (1999-09-28) cité dans la demande abrégé; figures 3,4,40 colonne 13, ligne 14 - ligne 23 colonne 13, ligne 33 -colonne 15, ligne 4 colonne 34, ligne 32 - ligne 55 ----	10
Y	US 6 262 749 B1 (GURACAR ISMAYIL M ET AL) 17 juillet 2001 (2001-07-17) abrégé; figure 1 colonne 3, ligne 8 - ligne 39 ----	11,12
A	US 5 758 649 A (ABE YOSHITAKA ET AL) 2 juin 1998 (1998-06-02) abrégé; figures 9,17 colonne 1, ligne 25 -colonne 2, ligne 11 colonne 10, ligne 29 - ligne 48 colonne 16, ligne 25 - ligne 48 ----	1
A	US 6 325 759 B1 (PELISSIER LAURENT) 4 décembre 2001 (2001-12-04) cité dans la demande abrégé; figures 1,10 colonne 4, ligne 42 -colonne 5, ligne 54 colonne 13, ligne 36 -colonne 14, ligne 4 -----	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Dernière Internationale No
PCT/FR 03/00742

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 0079300	A	28-12-2000	US 6530887 B1	11-03-2003
			AU 5633100 A	09-01-2001
			CA 2375525 A1	28-12-2000
			CN 1361871 T	31-07-2002
			EP 1194791 A1	10-04-2002
			JP 2003506172 T	18-02-2003
			WO 0079300 A1	28-12-2000
			WO 02068992 A2	06-09-2002
			US 2003073894 A1	17-04-2003
			US 2002120193 A1	29-08-2002
			US 2002067359 A1	06-06-2002
WO 0010638	A	02-03-2000	WO 0010638 A2	02-03-2000
US 5957846	A	28-09-1999	US 5690114 A	25-11-1997
			US 5590658 A	07-01-1997
			US 6106472 A	22-08-2000
			AU 700274 B2	24-12-1998
			AU 6344696 A	30-01-1997
			EP 0835458 A2	15-04-1998
			JP 11508461 T	27-07-1999
			US 2003028113 A1	06-02-2003
			US 6248073 B1	19-06-2001
			US 6379304 B1	30-04-2002
			US 5904652 A	18-05-1999
			US 5964709 A	12-10-1999
			CA 2225622 A1	16-01-1997
			TW 381226 B	01-02-2000
			WO 9701768 A2	16-01-1997
			ZA 9605568 A	29-01-1997
US 6262749	B1	17-07-2001	US 6300961 B1	09-10-2001
			US 2001035866 A1	01-11-2001
US 5758649	A	02-06-1998	JP 9122125 A	13-05-1997
US 6325759	B1	04-12-2001	AU 7502000 A	24-04-2001
			WO 0122115 A1	29-03-2001
			US 2002007119 A1	17-01-2002

BEST AVAILABLE COPY